

# 1 炭素繊維とは

炭素繊維の定義と特徴

「炭素繊維」の定義は、ISO(国際標準化機構)によると、「有機繊維を焼成して得られる炭素含有率が90%以上の繊維」とされています。有機繊維には、炭素原子の他に水素原子や窒素原子などが含まれますが、これを焼成(高温加熱処理)して、ほとんど炭素原子だけからなる繊維としたのが炭素繊維というわけです。

炭素繊維の製品形態を写真で示しました。直径が5~15 $\mu\text{m}$ と髪の毛の1/10ぐらいの太さの単繊維が数千本から数万本束ねられ、さらにポピンに巻き取られています。なお、単繊維の直径や本数は品種によって異なります。

炭素繊維の一番の特徴は、軽くて強い、軽くて硬いということです。炭素繊維の代表的な特徴を表に示しましたが、比重が鉄の約1/4と軽く、しかも、比強度が鉄の10倍、比弾性率が7倍と非常に高い力学的特性を持っています。

炭素繊維は、繊維状態のままで使用されることなく、樹脂などの中に埋め込まれた複合材料として、主に構造材料に使用されます。

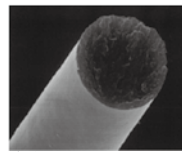
構造材料として最も重要な特性は、強度や弾性率などの力学的特性です。同じ強度の材料であれば軽いほうが有利と言えます。そこで単位重量当たりの強度や弾性率である比強度や比弾性率が尺度として用いられています。

構造材料に使用される他の素材との比較を図に示しましたが、炭素繊維は鉄(スチール)やアルミ合金などの金属と比較して10倍以上高い力学的特性を有することがわかります。

炭素繊維は、ほぼ炭素原子だけからできているため、錆びない、耐熱性や耐薬品性が高い、電気伝導性やX線透過性があるなどの機能的な特徴もあり、力学的特性と機能的特性の両方を生かした用途でも活用されています。

## 炭素繊維の構造・形態

化学構造	炭素(C)90%以上
単糸直径	5~15 $\mu\text{m}$
繊維束	1000~50000本



単糸直径5 $\mu\text{m}$



24000本を集合



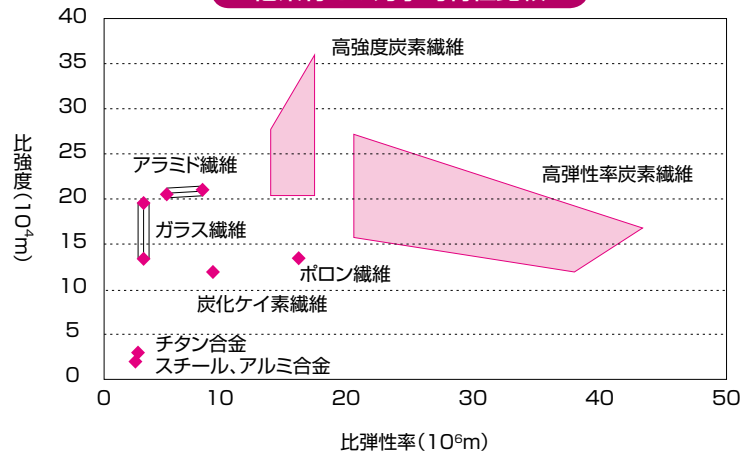
繊維束を巻いたポピン

出典:西原正浩、航空技術642、日本航空技術協会(2008)

## 炭素繊維の特徴

- |                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| ① 軽い…比重は鉄の約1/4   | ④ さびない                           |
| ② 強い…比強度は鉄の10倍以上 | ⑤ その他<br>耐熱性、耐薬品性<br>X線透過性、電気伝導性 |
| ③ 硬い…比弾性率は鉄の7倍以上 |                                  |

## 他素材との力学的特性比較



### 用語解説

炭素繊維: Carbon Fiber (略語: CF)

比強度: 単位密度当りの強度(強度/密度)

比弾性率: 単位密度当りの弾性率(弾性率/密度)

弾性率: 変形のしにくさ(剛性)を表わす物性値

焼成: 有機繊維から炭素繊維を作る高温加熱処理(4参照)

$\mu\text{m}$ : 10<sup>-6</sup>m。1mmの千分の1

### 要点BOX

- 炭素繊維は炭素含有率が90%以上の繊維
- 比重は鉄の1/4、比強度は鉄の10倍以上、比弾性率は鉄の7倍以上

炭素繊維は原料や製造方法によって特性が異なります。炭素繊維の分類を表に示しましたが、大きくは原料によって分類されます。

PAN系炭素繊維は、PAN(ポリアクリロニトリル)を原料とする炭素繊維です。繊維束を構成する単繊維の本数によりレギュラトウタイプとラージトウタイプに分類されます。

レギュラトウタイプは繊維束が1000本から24000本の単繊維で構成された比較的細束の炭素繊維で、高い力学的特性を有し取扱性にも優れ、高性能グレードに分類されます。

ラージトウタイプは、繊維束が40000本以上の単繊維で構成された太束の炭素繊維であり、レギュラトウタイプと比較すると力学的特性も取扱性も低く、汎用グレードに分類されます。

ピッチ系炭素繊維は、原料ピッチの特性に応じて、メゾフェーズ(異方性)タイプと等方性タイプに分類さ

れます。

等方性タイプは、石油や石炭から得られたピッチをそのまま原料に用いて製造します。黒鉛構造の成長が低く等方的(均質)な微細構造をしていて、力学的特性が低いため、低性能グレードに分類されます。

メゾフェーズ(異方性)タイプは、ピッチを熱処理して得られるピッチの分子が二方向に配列したメゾフェーズピッチが原料に用いられます。黒鉛構造が成長した異方的な微細構造をしていて、力学的特性も高く、高性能グレードに分類されます。

レーヨン系炭素繊維は、最初に開発されましたが、性能・コストの面から現在は使用されていません。

その他、炭素繊維の仲間として気相成長炭素繊維や活性炭素繊維がありますが、構造材料にはほとんど使用されていません。

なお、炭素繊維の使用量の90%以上はPAN系が占め、ピッチ系は10%以内と推定されています。

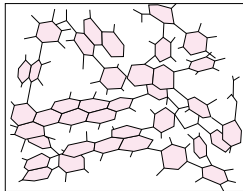
炭素繊維の原料と種類・分類

原料/種類	分類(タイプ)	グレード
PAN (ポリアクリロニトリル) /PAN系炭素繊維	レギュラトウタイプ (1000~24000本の 単糸からなる繊維束)	高性能グレード
	ラージトウタイプ (40000本以上の 単糸からなる繊維束)	汎用グレード
ピッチ /ピッチ系炭素繊維	等方性タイプ	低性能グレード
	メゾフェーズ(異方性)タイプ	高性能グレード
レーヨン /レーヨン系炭素繊維	炭素繊維開発当初には生産されたが、 現在は使われていない	汎用グレード 低性能グレード

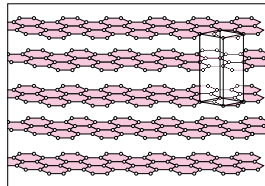
その他の炭素繊維の仲間

種類	特記事項
気相成長炭素繊維 (VGCF)	ベンゼンなどの炭化水素と水素の混合気体を超微粒鉄粉などの触媒存在下で、1000℃前後で加熱して作られる数センチメートル以下の短い繊維
活性炭素繊維 (ACF)	炭素繊維を賦活処理(約800℃の水蒸気との反応)して作られるポーラスな構造の非常に比表面積の大きい繊維で、吸着剤として使用される

等方性の構造モデル



異方性の構造モデル



用語解説

**PAN(ポリアクリロニトリル)**:モノマーであるアクリロニトリルを重合して得られる高分子(ポリマー)

**ピッチ**:黒色の粘弾性のある樹脂。石油精製ピッチや石灰乾留タール

**メゾフェーズ**:液体としての流動性を持つとともに結晶と同様な光学的異方性を持つ物質の一状態

**レーヨン**:ハルブなどのセルロースを原料とした繊維

要点  
BOX

- 炭素繊維にはPAN系とピッチ系の2種類がある
- 世界の炭素繊維使用量の90%以上をPAN系が占めている

## 3

## 炭素繊維はいつ発明され、いつ工業化されたか

炭素繊維の発明・開発・工業化の歴史

19世紀末に、発明王エジソンが、木綿や麻や竹の繊維を炭素化して、白熱電灯用のフィラメントに用いたのが、炭素繊維の始まりとされています。

1959年、米国で宇宙開発のために耐熱性の高い炭素繊維が必要とされ、米国のユニオン・カーバイド社がレーヨン系炭素繊維の生産を開始しました。

米国での動向に刺激を受けた大阪工業試験所の進藤昭男博士は、さまざまな繊維について炭素化の検討を行い、1959年にポリアクリロニトリル(PAN)繊維を用いると性能の高い炭素繊維が得られることを発見、特許出願を行いました。

進藤博士のPAN系炭素繊維の発明を受けて、日本カーボンは、1962年にPAN系炭素繊維の試験生産を開始しています。また、英国の王立航空研究所のワット、ジョンソン両博士は、PAN系炭素繊維の性能向上の検討を行い、1964年に高性能グレードの開発に成功、1969年に日本カーボンや英国コ

ートルズ社は高性能グレードのPAN系炭素繊維の少量生産を開始しました。

1971年には東レが炭素繊維の製造に適したPAN繊維の開発を進め、高性能グレード炭素繊維の本格的商業生産を開始しました。

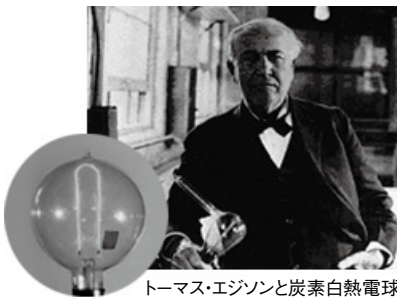
その後、米国ハーキュレス社、東邦テナックス、三菱レイヨンなどが、高性能グレードPAN系炭素繊維の本格的商業生産に参入しています。

一方、群馬大学の太谷杉郎博士は、1963年にピッチを原料にして炭素繊維を作ることに成功し、特許を出願、1969年にはピッチを熱処理して得られるメゾフェーズ・ピッチを原料に用いると性能の高い炭素繊維が得られることを発見しました。これを受けて、1970年にクレハがピッチ系炭素繊維(等方性)の生産を開始しました。1976年には米国のユニオン・カーバイド社がピッチ系高性能グレード炭素繊維の生産を開始しています。

## 炭素繊維の発明・開発と工業化の歩み

年代	特記事項
1879	トーマス・エジソンが白熱電球のフィラメント用に木綿や竹の繊維を焼成して炭素繊維を発明
1959	米国ユニオン・カーバイド社がレーヨン系炭素繊維の生産を開始
1959	大阪工業試験所の進藤昭男博士がPAN系炭素繊維を発明
1962	日本カーボンがPAN系汎用グレード炭素繊維の試験生産開始
1963	群馬大学の太谷杉郎博士がピッチ系等方性炭素繊維を発明
1964	英国王立航空研究所のワット、ジョンソン両博士がPAN系高性能炭素繊維の製法を開発
1969	日本カーボン、英国コートルーズ社がPAN系高性能炭素繊維の少量生産を開始
1969	群馬大学の太谷杉郎博士がピッチ系メゾフェーズ炭素繊維を発明
1970	クレハがピッチ系等方性炭素繊維の生産を開始
1971	東レがPAN系高性能炭素繊維の本格的生産を開始
1972	米国ハーキュレス社がPAN系高性能炭素繊維の生産を開始
1976	米国ユニオン・カーバイド社がピッチ系メゾフェーズ炭素繊維の生産を開始
1976	東邦テナックスがPAN系高性能炭素繊維の生産を開始
1981	三菱レイヨンがPAN系高性能炭素繊維の生産を開始

森田健一、炭素繊維産業、近代編集社(1984)をもとに作成



炭素白熱電球

トーマス・エジソンと炭素白熱電球

出典:東レトレカ®HP、東レ(株)

[http://www.torayca.com/aboutus/abo\\_002.html](http://www.torayca.com/aboutus/abo_002.html)

## 要点BOX

- 最初の炭素繊維はエジソンが発明
- PAN系もピッチ系も日本人が発明
- PAN系炭素繊維の本格的工業化は日本が先行